

無機シンチレーターによるガンマ線計数効率

合 田 一 夫

I 序 言

ガンマ線スペクトル解析においては、最近は分解能のよい半導体検出器 SSD が多く利用されるようになったが、SSD は検出部の体積が小さく、従って計数効率も小さいので放射化分析等において、ごく微量の物質の測定には適さない場合がある。

これに反して、NaI (Tl) 無機シンチレーターは現在相当大型のものも作られるようになり、大型光電子増倍管と併用することにより、ごく微量のガンマ放射体も効率よく相当な精度で測定することができる。

シンチレーション計数管の計数効率については多くの研究結果があるが⁽¹⁾、いずれも円筒形検出器の主軸上に放射性物質をおいた場合のもので、検出部の横においたものがない。実際ガンマ線計測を行なう場合、検出部と光電子増倍管との結合状態から軸上に線源を置けず側面からガンマ線をあて、測定しなければならない場合が考えられる。

このような場合、点線源が検出部に張る立体角を求めておくと、固有検出効率 (intrinsic efficiency) の計算が容易となるので、本研究では円筒形検出器の側方に点線源がある場合の立体角について数値計算を行なった。

II 計 数 効 率

放射線測定において、線源の放射線放出率を N_0 cps, 検出器の測定計数率を N' cps とすると検出効率 ϵ は

$$\epsilon = \frac{N'}{N_0}$$

となる。この検出効率は、検出器と線源との幾何学的配置によって大きく変る。これは主として、配置が変わると、単位時間に検出器に入る放射線の数に変化したり、放射線が検出器を通過する期待値が変るなどのためである。検出器に入射した放射線と、検出器に計数された放射線の割合 η は、 N_{cps} の放射線が検出器に入るとすると

$$\eta = \frac{N'}{N}$$

で、固有検出効率といわれる。従って、線源より放出された放射線のうち検出器に入射する放射線の割合 G は、

$$G = \frac{N}{N_0}$$

で、幾何学的因子となり、線源が点状のとき、 G は検出器が張る立体角を Ω , 全立体角

(1) S. Flügge ; *Handbuch der Physik*, Bd. XLV, S. 86 (1958)

を 4π とすると

$$G = \frac{\Omega}{4\pi}$$

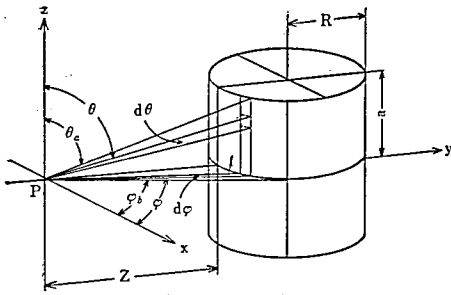
となる。従って固有検出効率 η は、幾何学的因子 G と検出効率を用いて

$$\eta = \frac{\varepsilon}{G}$$

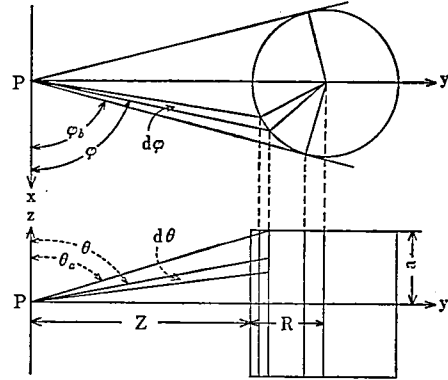
となる。

Ⅲ 立体角の式と計算方法

〔平面図〕



第1図(a) 点線源と円筒形検出器の見取り図



〔側面図〕

第1図(b) 検出器に対して張る立体角の座標のとり方

点状線源が円筒形検出器の側方にある場合、P に対して検出器が張る立体角 Ω は、第1図のように座標をとると、

$$l = (Z+R)\sin\varphi - \left[(Z+R)^2\sin^2\varphi - (Z^2+2RZ) \right]^{\frac{1}{2}}$$

従って、

$$\theta_a = \tan^{-1} \frac{(Z+R)\sin\varphi - \left[(Z+R)^2\sin^2\varphi - (Z^2+2RZ) \right]^{\frac{1}{2}}}{a}$$

から

$$\begin{aligned} \frac{\Omega}{4} = S &= \int_{\varphi_b}^{\frac{\pi}{2}} \int_{\theta_a}^{\frac{\pi}{2}} \sin\theta \, d\theta \, d\varphi \\ &= \int_{\varphi_b}^{\frac{\pi}{2}} \cos \tan^{-1} \frac{(Z+R)\sin\varphi - \left[(Z+R)^2\sin^2\varphi - (Z^2+2RZ) \right]^{\frac{1}{2}}}{a} d\varphi \end{aligned} \quad (1)$$

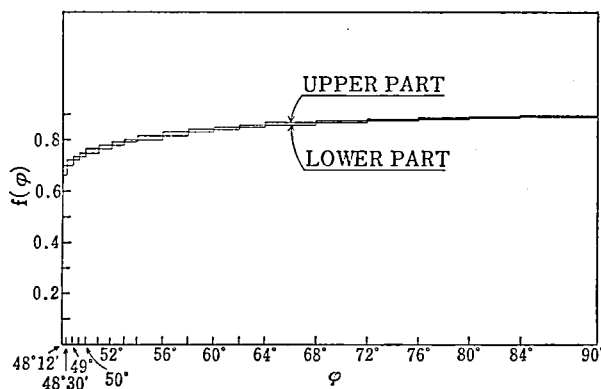
が得られる。ただし、

$$\varphi_b = \cos^{-1} \frac{R}{Z+R}$$

となる。ここで

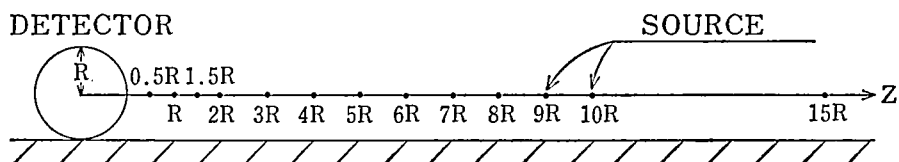
$$f(\varphi) = \cos \tan^{-1} \frac{(Z+R)\sin \varphi - \left[(Z+R)^2 \sin^2 \varphi - (Z^2 + 2RZ) \right]^{\frac{1}{2}}}{a}$$

とおく。



第2図 $Z=0.5R$ のときの $f(\varphi)$ の値と面積のとり方

(1)式を計算するために、 φ の値をいくつかとり $f(\varphi)$ を計算し、第2図の upper part と lower part の面積の平均をとり、この積分値に近似する。



第3図 検出器と点線源の計算を行なった位置

今、検出器が $R=a$ の大きさのものの場合、第3図のように点線源を置いた場合の立体角を求める。

Ⅳ 計算結果

例えば $Z=0.5R$ のとき、第2図のように点をとって、以下同様にして各々の距離について各 φ を、upper part と lower part の差がこの二つの平均 S の約1%程度になるように選んで得た結果を第1表と第4図に示す。

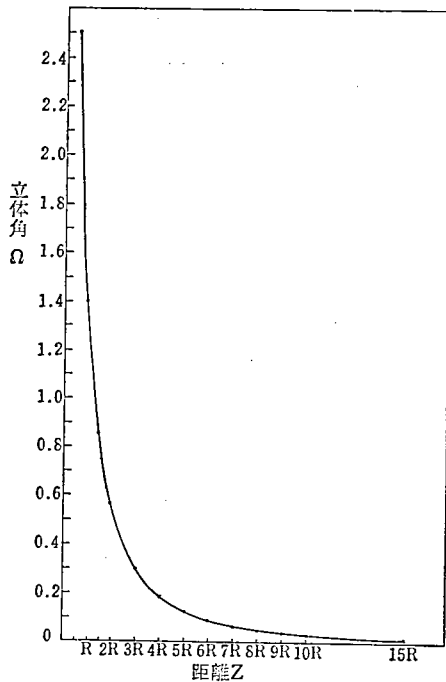
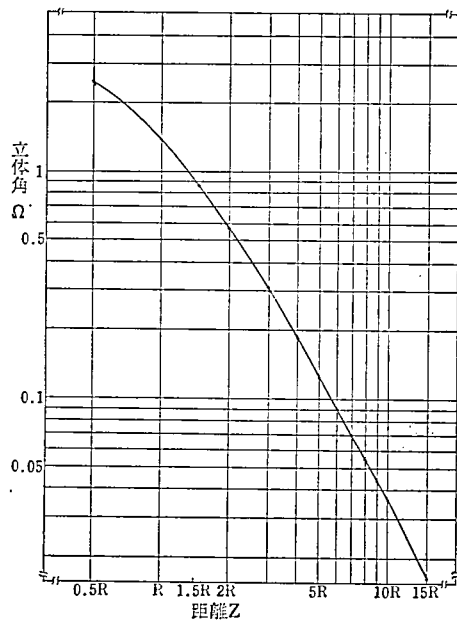
また、これを対数目盛にしたのが第5図となる。

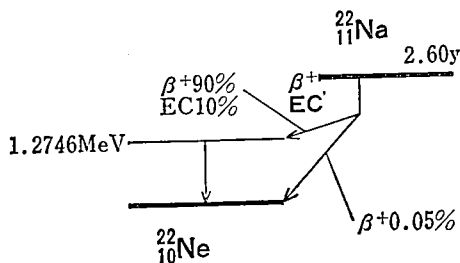
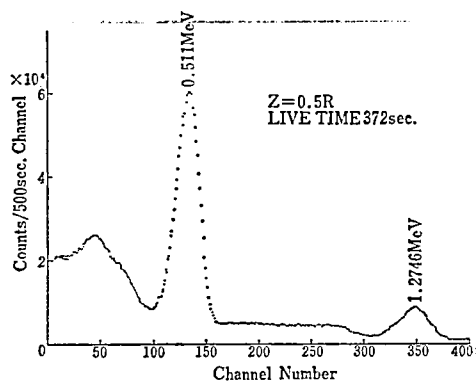
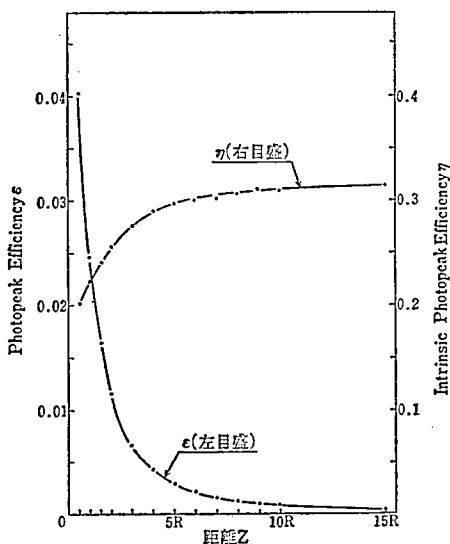
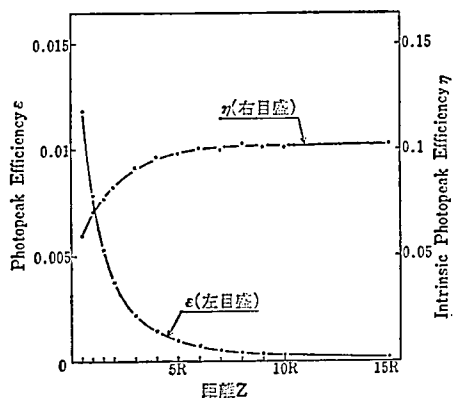
Ⅴ 計算と測定結果の考察

今回の場合、計算は3桁まで有効な値と考えられる。3桁の程度で立体角を求めるには、とる点の数を15～20個程度にすればよい。また、検出器までの距離が増すと、 $f(\varphi)$ のふくらみが小さくなり、とる点の数はやや少なくして同程度の近似となる。

また、 $2\phi \times 2\phi$ のヨウ化ナトリウム（タリウム）シンチレーションカンターの検出部の側方に、 $1.38\mu\text{Ci}$ Na-22線源（崩壊図を第6図に示す）の距離を変えてガンマ線スペクトルを測定した。今回は東芝製800チャンネル波高分析器を二分割して400チャンネルとし

距離Z	Lower Part	Upper Part	$S = \frac{\text{Lower P.} + \text{Upper P.}}{2}$	Ω	G	とった点の数 N
0.5R	0.6206	0.6267	0.6237	2.495	0.1985	20
R	0.3457	0.3495	0.3476	1.390	0.1106	20
1.5R	0.2126	0.2154	0.2140	0.8560	0.06812	20
2R	0.1422	0.1440	0.1431	0.5724	0.04555	20
3R	0.07572	0.07651	0.07612	0.3045	0.02423	18
4R	0.04652	0.04700	0.04676	0.1870	0.01488	16
5R	0.03519	0.03187	0.03173	0.1269	0.01010	15
6R	0.02280	0.02296	0.02288	0.09152	0.007283	15
7R	0.01719	0.01733	0.01726	0.06902	0.005494	15
8R	0.01344	0.01352	0.01348	0.05392	0.004291	14
9R	0.01081	0.01088	0.01085	0.04338	0.003454	14
10R	0.008861	0.008906	0.008884	0.03553	0.002828	14
15R	0.004098	0.004113	0.004106	0.01642	0.001307	14

第1表 $a=R$ の検出器における計算結果第4図 $a=R$ の検出器が張る立体角第5図 $a=R$ の検出器が張る立体角

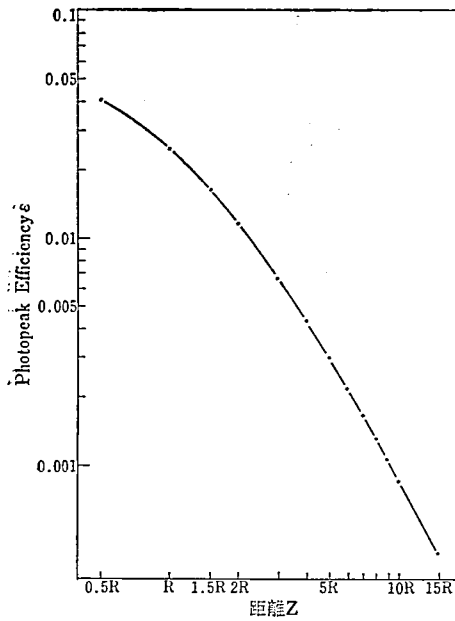
第6図 $Na-22$ の崩壊図第7図 $NaI(Tl)$ 検出器による $Na-22$ のガンマ線パルス波高分布第8図(a) $Na-22$ 線源による $0.511 MeV$ の光電ピーク効率と固有検出効率第8図(b) $Na-22$ 線源による $1.2746 MeV$ の光電ピーク効率と固有検出効率

て用いた。

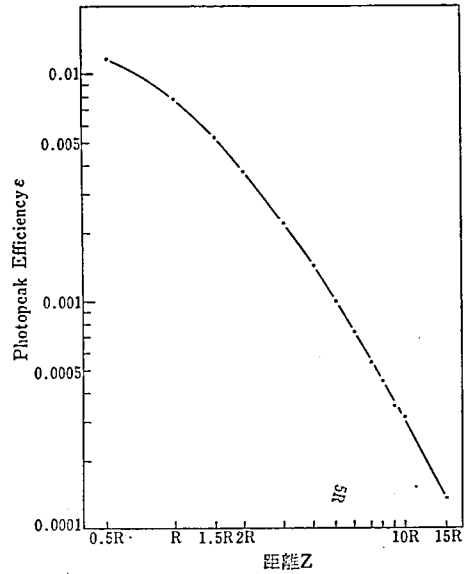
図7は $Z=0.5R$ の場合のガンマ線スペクトルである。

これらの各距離における $Na-22$ 線源のガンマ線スペクトルより、 $0.511 MeV$ と $1.2746 MeV$ のガンマ線による全エネルギー吸収ピークに属する波高値のパルスを数えて検出効率を求めた。また、これに幾何学的因子 G を用いた固有検出効率も求まる。これらが第8、9図のようになっている。

ここで固有検出効率は、距離が短い所では、放射線がシンチレーターを通過する距離の期待値がかわるため変化するが、距離が大きくなるにつれて、やがて一定の値に近づいていく。これらのガンマ線スペクトルの効率は、ガンマ線が検出器と種々の相互作用を行



第9図(a) $Na-22$ 線源による $0.511MeV$ の
光電ピーク効率の対数目盛でとった図



第9図(b) $Na-22$ 線源による $1.2746MeV$ の
光電ピーク効率の対数目盛でとった図

なうため複雑となるが、以上のように期待される値が得られている。また、本研究の数々にわたり、御指導をいただいた鈴木辰三郎教授に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 阪井英次, 五藤博. 原子力工業, 11(No. 11), 65
- 2) W. J. Price, "Nuclear Radiation Detection", (2nd ed.), McGraw-Hill
- 3) C. M. Lederer, J. M. Hollander, I. Perlman, "Table of Isotopes", (6th ed.), (1967) John Wiley & Sons, Inc.